

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
4 janvier 2001 (04.01.2001)

PCT

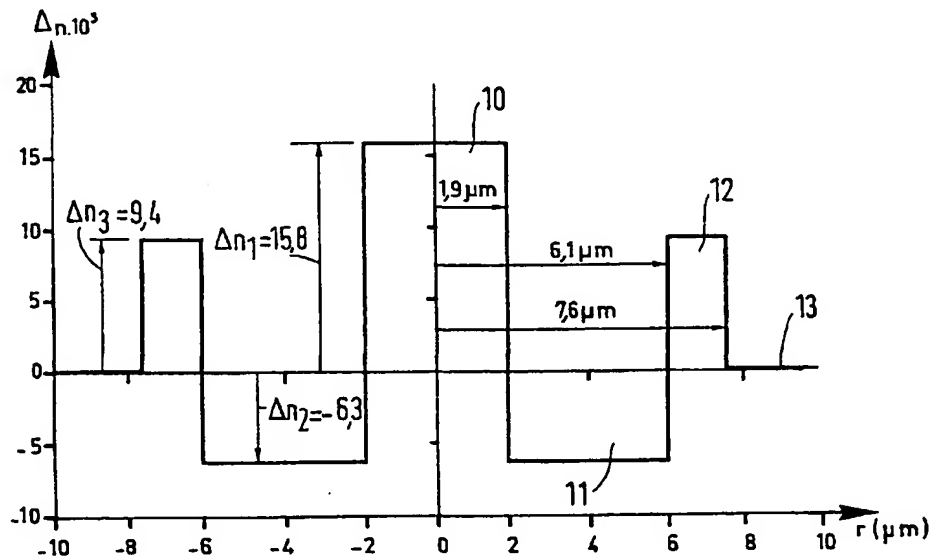
(10) Numéro de publication internationale
WO 01/01177 A1

- (51) Classification internationale des brevets⁷: G02B 6/16 (72) Inventeurs: SILLARD, Pierre; 25, rue d'Alembert, F-75014 Paris (FR). DE MONTMORILLON, Anne; 61, rue de la Condamine, F-75017 Paris (FR). FLEURY, Ludovic; Résidence "La Forêt", 17, rue Jean Racine, F-78390 Bois d'Arcy (FR). NOUCHI, Pascale; 2, avenue Bossuet, F-78600 Maisons Laffitte (FR).
- (21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR00/01823
- (22) Date de dépôt international: 29 juin 2000 (29.06.2000)
- (25) Langue de dépôt: français (74) Mandataires: FERAY, Valérie etc.; Compagnie Financière Alcatel, Dépt. Propriété Industrielle, 30, avenue Kléber, F-75116 Paris (FR).
- (26) Langue de publication: français
- (30) Données relatives à la priorité: 99/08298 29 juin 1999 (29.06.1999) FR (81) État désigné (national): JP.
- (71) Déposant: ALCATEL [FR/FR]; 54, rue la Boétie, F-75008 Paris (FR). Publiée: — Avec rapport de recherche internationale.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: OPTICAL FIBRE WITH CHROMATIC DISPERSION COMPENSATION

(54) Titre: FIBRE OPTIQUE A COMPENSATION DE DISPERSION CHROMATIQUE



(57) Abstract: The invention concerns an optical fibre for compensating the chromatic dispersion of an optical fibre with positive chromatic dispersion. The inventive fibre has advantageously for a wavelength of 1500 nm a chromatic dispersion less than 40 ps/(nm.km), a ratio between the chromatic dispersion and the chromatic dispersion slope ranging between 50 and 230 nm, and an effective area greater than 12 μm², and bend losses not more than 0.05 dB. It enables to compensate chromatic dispersion accumulated in a fibre with positive chromatic dispersion. The invention also concerns an optical fibre transmission system using such a fibre to compensate chromatic dispersion accumulated in the line fibre.

[Suite sur la page suivante]

WO 01/01177 A1



En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) **Abrégé:** L'invention propose une fibre optique pour la compensation de la dispersion chromatique d'une fibre optique à dispersion chromatique positive. La fibre de l'invention présente avantageusement pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique inférieure à -40 ps/(nm.km), voire à -50 ps/(nm.km), un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique entre 50 et 230 nm, ainsi qu'une aire effective supérieure à $12\mu\text{ m}^2$, et des pertes par courbures inférieures ou égales à 0,05 dB. Elle permet de compenser en ligne la dispersion chromatique cumulée dans une fibre de ligne à dispersion chromatique positive. L'invention concerne aussi un système de transmission à fibre optique, utilisant une telle fibre pour compenser la dispersion chromatique cumulée dans la fibre de ligne.

FIBRE OPTIQUE A COMPENSATION DE DISPERSION CHROMATIQUE

La présente invention concerne le domaine des transmissions par fibre optique.

- 5 Pour des fibres optiques, on qualifie généralement le profil d'indice en fonction de l'allure du graphe de la fonction qui associe au rayon de la fibre l'indice de réfraction. On représente de façon classique sur les abscisses la distance r au centre de la fibre, et sur les ordonnées la différence entre l'indice de réfraction et l'indice de réfraction de la gaine de la fibre. On parle ainsi de profil d'indice en
- 10 "échelon", en "trapèze" ou en "triangle" pour des graphes qui présentent des formes respectives d'échelon, de trapèze ou de triangle. Ces courbes sont généralement représentatives du profil théorique ou de consigne de la fibre, les contraintes de fabrication de la fibre pouvant conduire à un profil sensiblement différent.

- Dans les nouveaux réseaux de transmission à hauts débits et multiplexés en
- 15 longueur d'onde, il est avantageux de gérer la dispersion chromatique, notamment pour des débits supérieurs ou égaux à 10 Gbit/s par canal ; l'objectif est d'obtenir, pour toutes les valeurs de longueur d'onde du multiplex, une compensation chromatique cumulée sensiblement nulle sur la liaison, de manière à limiter l'élargissement des impulsions. Une valeur cumulée de quelques centaines de ps/nm
- 20 pour la dispersion est en général acceptable. Il est aussi intéressant d'éviter au voisinage des longueurs d'onde utilisées dans le système les valeurs nulles de la dispersion chromatique, pour lesquelles les effets non-linéaires sont plus importants. Enfin, il est aussi intéressant de limiter la pente de dispersion chromatique sur la plage du multiplex de manière à éviter ou limiter les distorsions entre les canaux du
- 25 multiplex.

- On utilise classiquement comme fibre de ligne pour les systèmes de transmissions à fibres optiques des fibres à saut d'indice dites SMF (pour Single Mode Fiber en anglais). La demanderesse commercialise ainsi sous référence ASMF 200 une fibre monomode à saut d'indice présentant une longueur d'onde λ_0 d'annulation
- 30 de la dispersion chromatique entre 1300 et 1320 nm, et une dispersion chromatique inférieure ou égale à 3,5 ps/nm/km dans une plage de 1285 à 1330 nm, et de 17 ps/nm.km à 1550 nm. La pente de la dispersion chromatique à 1550 nm est de l'ordre de 0,06 ps/nm².km.

Pour compenser la dispersion chromatique et la pente de la dispersion chromatique de ces fibres SMF, initialement installées pour fonctionner autour de 1310 nm, et que l'on souhaite utiliser à présent comme fibres de ligne sur une fenêtre située autour de 1550 nm, le document WO 98/04941 décrit une fibre

5 optique à compensation de dispersion (DCF pour Dispersion Compensating Fiber en anglais) présentant, à 1550 nm, une forte valeur de dispersion chromatique négative, typiquement inférieure à -150 ps/nm.km . Afin de limiter les effets non linéaires, cette fibre a en outre une surface effective de mode supérieure à $30 \mu\text{m}^2$ à 1550 nm. D'autre part, selon l'un des modes de réalisation décrits dans ce

10 document, la pente de la dispersion chromatique de cette fibre peut être comprise entre -5 et $-0,1 \text{ ps/nm}^2.\text{km}$, toujours à 1550 nm.

De telles valeurs lui permettent notamment d'être utilisée pour compenser la dispersion d'une fibre dite NZ-DSF (pour Non-Zero Dispersion Shifted Fiber en anglais) dont la dispersion chromatique est comprise entre 6 et 10 ps/nm.km et la

15 pente de dispersion chromatique est inférieure à $0,07 \text{ ps/nm}^2.\text{km}$ à 1550 nm.

On qualifie de DSF des fibres telles qu'à la longueur d'onde de transmission à laquelle elles sont utilisées, qui est en général différente de la longueur d'onde de $1,3 \mu\text{m}$ pour laquelle la dispersion de la silice est sensiblement nulle, leur dispersion chromatique est sensiblement nulle ; en d'autres termes, la dispersion chromatique

20 de la silice, non nulle, est compensée - d'où l'emploi du terme décalé - par une augmentation de l'écart d'indice Δn entre le coeur de la fibre et la gaine optique. Cet écart d'indice permet de décaler la longueur d'onde pour laquelle la dispersion chromatique est sensiblement nulle ; il est obtenu par l'introduction de dopants dans la préforme, lors de la fabrication de celle-ci, par exemple par un procédé MCVD

25 connu en soi, et qui n'est pas décrit plus en détail ici.

On qualifie de NZ-DSF des fibres à dispersion décalée présentant une dispersion chromatique non-nulle pour les longueurs d'onde auxquelles elles sont utilisées.

La fibre DCF du document WO 98/04941, bien que susceptible compte

30 tenu de ses caractéristiques optiques de compenser la dispersion des fibres DSF et NZ-DSF et plus particulièrement de celle ayant les caractéristiques mentionnées plus haut, n'est pas adaptée car elle présente des pertes par courbure très importantes (de l'ordre de $0,3 \text{ dB/m}$ pour un enroulement de 100 tours avec un rayon de 30 mm)

étant donné que la différence d'indice entre la partie centrale de son cœur et sa gaine optique est limitée.

- La présente invention a pour objet de mettre au point une fibre à compensation de dispersion capable notamment de compenser la dispersion chromatique d'une fibre NZ-DSF dont la dispersion chromatique est comprise entre 5 et 11 ps/nm.km et la pente de dispersion chromatique est inférieure à 0,08 ps/nm².km à 1550 nm, tout en présentant des pertes par courbure lui permettant d'être effectivement utilisée dans les systèmes de transmission optique actuels.
- 10 La présente invention propose à cet effet une Fibre optique à compensation de dispersion présentant pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique inférieure ou égale à -40 ps/nm.km, une pente de la dispersion chromatique négative, un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de la dispersion chromatique compris entre 50 et 230 nm et une surface effective
- 15 supérieure ou égale à 12 μm^2 ,

caractérisée en ce qu'elle présente à 1550 nm des pertes par courbure inférieures ou égales à 0,05 dB pour un enroulement de 100 tours avec un rayon de 30 mm.

De préférence, la fibre présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique inférieure ou égale à -50 ps/(nm.km).

- 20 La borne supérieure du rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique peut être choisi à 200 nm, 180 nm ou 160 nm.

La borne inférieure du rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique peut être choisi à 80 nm, 100 nm ou 120 nm.

- Toutes les combinaisons entre ces valeurs de bornes supérieures et
- 25 inférieures sont combinables pour déterminer une plage préférée pour ce rapport.

Dans un mode de réalisation, la fibre présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une surface effective supérieure ou égale à 15 μm^2 , de préférence supérieure ou égale à 20 μm^2 .

- Dans un autre mode de réalisation, la fibre présente pour une longueur
- 30 d'onde de 1550 nm une atténuation inférieure ou égale à 1 dB/km.

Dans encore un autre mode de réalisation, la fibre présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un diamètre de mode supérieur ou égal à 4 μm .

Avantageusement, la fibre a pour une longueur d'onde de 1550 nm une sensibilité aux micro-courbures inférieure ou égale à 1, et de préférence inférieure ou égale à 0,5.

La fibre peut présenter un profil d'indice en rectangle avec une tranchée déprimée et un anneau. Dans ce cas, il est préférable que la différence entre l'indice de la partie enterrée et l'indice de la gaine soit supérieure ou égale à -8.10^{-3} .

L'invention propose aussi l'utilisation d'une telle fibre comme fibre de dispersion de compensation dans un système de transmission à fibre optique à multiplexage en longueur d'onde.

10 La fibre de compensation peut alors être câblée et utilisée comme fibre de ligne, ou encore être placée dans un module de compensation.

L'invention propose ensuite un système de transmission à fibre optique à multiplexage en longueur d'onde, comprenant une première section de fibre de ligne, et une deuxième section de fibre de ligne du genre défini plus haut.

15 La fibre de ligne de la première section présente avantageusement pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique entre 5 et 11 ps/nm.km, ainsi qu'une pente de dispersion chromatique inférieure ou égale à 0,08 ps/nm².km.

Dans un mode de réalisation, le rapport de la longueur de la première section à la longueur de la seconde section est sensiblement l'inverse de la valeur absolue du rapport des dispersions chromatiques à 1550 nm des fibres de la première section et de la deuxième section.

Avantageusement, la dispersion chromatique cumulée pour chaque canal entre 1530 et 1620 nm est inférieure à 100 ps/nm, et de préférence inférieure à 50 ps/nm, en moyenne sur 100 km de transmission.

25 L'invention propose enfin un système de transmission à fibre optique à multiplexage en longueur d'onde, comprenant de la fibre de ligne, et de la fibre du genre défini plus haut comme fibre de compensation dans un module de compensation.

La fibre de ligne de la première section présente avantageusement pour une 30 longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique entre 5 et 11 ps/nm.km, ainsi qu'une pente de dispersion chromatique inférieure ou égale à 0,08 ps/nm².km.

De préférence, le rapport de la longueur de la fibre de ligne à la longueur de la fibre de compensation est sensiblement l'inverse de la valeur absolue du

rapport des dispersions chromatiques à 1550 nm des fibres de ligne et de compensation.

Avantageusement, la dispersion chromatique cumulée pour chaque canal entre 1530 et 1620 nm est inférieure à 100 ps/nm, et de préférence inférieure à 50 ps/nm, en moyenne sur 100 km de transmission.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui suit de modes de réalisation de l'invention, donnés à titre d'exemple et en référence aux dessins annexés, qui montrent

- figures 1 à 3, des représentations schématiques du profil d'indice de consigne de fibre selon différents modes de réalisation de l'invention ;
- figure 4, une représentation schématique d'une section d'un système de transmission utilisant de la fibre de compensation de dispersion selon l'invention.

L'invention propose une fibre de compensation de dispersion, présentant pour une longueur d'onde de 1550 nm, une dispersion chromatique inférieure à -40 ps/nm.km, une pente de dispersion chromatique négative, un rapport de la dispersion chromatique à la pente de la dispersion chromatique compris entre 50 et 230 nm, une surface effective supérieure à 12 μm^2 , et des pertes par courbure inférieures ou égales à 0,05 dB.

Les caractéristiques préférés de la fibre de l'invention sont donc les suivantes:

- dispersion chromatique à 1550 nm inférieure à -40 ps/nm.km, et de préférence inférieure ou égale à -50 ps/nm.km et supérieure ou égale à -150 ps/nm.km ;
- rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique à 1550 nm compris entre 50 et 230 nm, et de préférence entre 80 et 200 nm, voire entre 100 et 180 nm, voire encore entre 120 et 160 nm ;
- surface effective supérieure à 12 μm^2 , voire 15 μm^2 , ou de préférence 20 μm^2 ;
- sensibilité aux micro-courbures à 1550 nm inférieure ou égale à 1, ou de préférence inférieure ou égale à 0,5 ;
- pertes par courbure à 1550 nm inférieures ou égales à 0,05 dB, et de préférence inférieures à $5 \cdot 10^{-3}$ dB.

La fibre de l'invention peut être utilisée pour la compensation en ligne d'une fibre NZ-DSF dont la dispersion chromatique est comprise entre 6 et 10 ps/nm.km et la pente de dispersion chromatique est inférieure à 0,07 ps/nm².km à 1550 nm, ou de fibres de même type. Elle est particulièrement adaptée aux fibres présentant à

1550 nm une dispersion chromatique comprise entre 5 et 11 ps/nm.km, et une pente de dispersion chromatique inférieure à 0,08 ps/nm².km, notamment du fait de la valeur de son rapport entre la dispersion chromatique et la pente de la dispersion chromatique qui est compris entre 50 et 230 nm.

- 5 Elle peut être utilisée comme composant dans un module de compensation, c'est-à-dire non pas comme fibre de ligne, mais dans un module discret. Elle présente alors de préférence une longueur d'onde de coupure effective selon la norme UIT-T G650, inférieure ou égale à 1550 nm.

- 10 Elle peut encore être câblée et utilisée comme fibre de ligne pour la compensation, avec de préférence une longueur d'onde de coupure en câble inférieure ou égale à 1300 nm.

La fibre de l'invention permet de constituer des systèmes de transmission à très haut débit, en multiplexage en longueurs d'onde, et permet par exemple d'atteindre des débits de $N \times 20$ Gb/s, ou de $N \times 40$ Gb/s.

- 15 De façon connue en soi, les pertes par courbure sont évaluées en mesurant les pertes induites dans une fibre par l'enroulement de 100 tours de la fibre autour d'un tambour de rayon 30 mm. La sensibilité aux micro-courbures est évaluée de façon relative, par rapport à la fibre commercialisée par la demanderesse sous la référence ASMF 200 ; on peut employer la méthode d'écrasement de la fibre entre
20 deux grilles, connue en soi.

On donne dans la suite de la description en référence aux figures des exemples de profils de fibre permettant d'obtenir de telles valeurs. Les profils des figures 1 à 3 présentent une allure identique, et varient par les valeurs numériques des rayons et des indices.

- 25 La figure 1 montre une représentation schématique du profil d'indice de consigne d'une fibre selon un premier mode de réalisation de l'invention ; dans ce mode de réalisation, le profil d'indice est un profil d'indice du type en rectangle, avec une tranchée enterrée, un anneau et une gaine optique, qui présente, en partant du centre de la fibre :

- 30
- une partie centrale 10 d'indice sensiblement constant supérieur ou égal à l'indice de la gaine optique 13,
 - une partie annulaire 11 ou tranchée enterrée, d'indice inférieur ou égal à l'indice de la gaine 13, ayant de préférence une différence d'indice avec la gaine

supérieure à -8.10^{-3} ; une telle valeur minimale de la différence d'indice facilite la fabrication de la fibre,

- une partie annulaire 12 ou anneau d'indice supérieur ou égal à l'indice de la gaine 13 et inférieur ou égal à celui de la partie centrale 10,
 - 5 • une gaine optique 13,
- l'ensemble constituant un profil d'indice dit "en rectangle avec une tranchée enterrée ou déprimée".

Autour de la tranchée enterrée, la fibre de la figure 1 présente une partie annulaire ou anneau 11, c'est-à-dire une partie d'indice supérieur à l'indice de la gaine 13, d'où le qualificatif de profil en rectangle avec une tranchée enterrée et un anneau.

Les valeurs d'indices et de rayons dans le mode de réalisation de la figure 1 sont les suivantes. Le rectangle central présente un rayon r_1 de $1,9 \mu\text{m}$ et son indice présente avec l'indice de la gaine une différence Δn_1 de $15,8.10^{-3}$.

- 15 La tranchée enterrée s'étend entre les rayons r_1 et r_2 , avec $r_2 = 6,1 \mu\text{m}$, et son indice présente avec l'indice de la gaine une différence Δn_2 de $-6,3.10^{-3}$.

Autour de la tranchée s'étend l'anneau, entre les rayons r_2 et r_3 , avec $r_3 = 7,6 \mu\text{m}$; elle présente par rapport à la gaine une différence d'indice Δn_3 de $9,4.10^{-3}$.

- 20 Autour de l'anneau s'étend la gaine de la fibre, par rapport à laquelle sont mesurées les différences d'indice.

Ces valeurs permettent d'obtenir une fibre présentant les caractéristiques suivantes:

- longueur d'onde de coupure λ_c : 1773 nm
- 25 • surface effective à 1550 nm : $22 \mu\text{m}^2$
- dispersion chromatique à 1550 nm : -51 ps/nm.km
- pente de dispersion chromatique à 1550 nm : $-0,35 \text{ ps/nm}^2.\text{km}$
- rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique : 145 nm ;
- 30 • diamètre de mode $2W_{02}$ à 1550 nm : $5,2 \mu\text{m}$
- atténuation du fait des courbures à 1550 nm , pour 100 tours d'une bobine de rayon 30 mm , inférieure ou égale à 10^{-5} dB

- sensibilité aux micro-courbures à 1550 nm : 0,5.

La longueur d'onde de coupure donnée ici est la longueur d'onde de coupure théorique ; dans la pratique, la longueur d'onde de coupure effective selon la norme UIT-T G650 et la longueur d'onde mesurée sur câble sont inférieures de quelques centaines de nm ; on comprend que la fibre est effectivement monomode dans la plage de longueurs d'onde des signaux utiles, par exemple de 1530 à 1620 nm.

La figure 2 montre une représentation schématique du profil d'indice d'une autre fibre selon l'invention ; la figure montre bien que le profil a une allure similaire à celui de la figure 1, avec des valeurs numériques différentes. Ces valeurs sont les suivantes. Le rectangle présente un rayon r_1 de $1,7 \mu\text{m}$ et son indice présente avec l'indice de la gaine une différence Δn_1 de $17,8 \cdot 10^{-3}$.

La tranchée enterrée s'étend autour du rectangle jusqu'à un rayon r_2 de $5,9 \mu\text{m}$, et son indice présente avec l'indice de la gaine une différence Δn_2 de $-6,2 \cdot 10^{-3}$.

L'anneau s'étend autour de la tranchée, jusqu'au rayon r_3 , avec $r_3 = 7,5 \mu\text{m}$; elle présente par rapport à la gaine une différence d'indice Δn_3 de $8,8 \cdot 10^{-3}$.

Autour de l'anneau s'étend la gaine de la fibre, par rapport à laquelle sont mesurées les différences d'indice.

Ces valeurs permettent d'obtenir une fibre présentant les caractéristiques suivantes :

- longueur d'onde de coupure λ_c : 1788 nm
- surface effective à 1550 nm : $20,5 \mu\text{m}^2$
- dispersion chromatique à 1550 nm : -75 ps/nm.km
- pente de dispersion chromatique à 1550 nm : $-0,51 \text{ ps/nm}^2.\text{km}$
- rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique : 147 nm ;
- diamètre de mode $2W_{02}$ à 1550 nm : $5 \mu\text{m}$
- atténuation du fait des courbures à 1550 nm, pour 100 tours d'une bobine de rayon 30 mm, inférieure ou égale à 10^{-5} dB
- sensibilité aux micro-courbures à 1550 nm : 0,45.

Le mode de réalisation de la figure 3 correspond à une fibre dont la dispersion chromatique est encore plus élevée que dans les fibres précédentes. Les valeurs des indices et des rayons sont les suivantes:

$$\begin{aligned} r_1 &= 1,6 \mu\text{m}, \Delta n_1 = 20,5 \cdot 10^{-3} \\ 5 \quad r_2 &= 5,8 \mu\text{m}, \Delta n_2 = -6,9 \cdot 10^{-3} \\ r_3 &= 6,8 \mu\text{m}, \Delta n_3 = 16 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

On obtient pour la fibre de la figure 3 les caractéristiques suivantes:

- longueur d'onde de coupure λ_c : 1790 nm
- surface effective à 1550 nm : $19 \mu\text{m}^2$
- 10 • dispersion chromatique à 1550 nm : -106 ps/nm.km
- pente de dispersion chromatique à 1550 nm : $-0,74 \text{ ps/nm}^2.\text{km}$
- rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique : 142 nm
- diamètre de mode $2W_{02}$ à 1550 nm : $4,8 \mu\text{m}$
- 15 • atténuation du fait des courbures à 1550 nm, pour 100 tours d'une bobine de rayon 30 mm, inférieure ou égale à 10^{-4} dB
- sensibilité aux micro-courbures à 1550 nm : 0,5.

Dans tous ces modes de réalisation, des variations de 5 % de l'indice Δn_1 de la partie centrale, ou de 10% des indices Δn_2 et Δn_3 de la tranchée enterrée et de 20 l'anneau permettent d'obtenir des résultats similaires. Il en est de même des rayons, qui peuvent varier individuellement de 5% par rapport aux valeurs données dans l'exemple des figures, tout en obtenant des résultats analogues.

Plus généralement, les profils satisfaisant les conditions de l'invention présentent au moins les caractéristiques suivantes :

$$\begin{aligned} 25 \quad 12 \cdot 10^{-3} &\leq \Delta n_1 \leq 40 \cdot 10^{-3}, \text{ et de préférence } 15 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_1 \leq 30 \cdot 10^{-3} \\ -8 \cdot 10^{-3} &\leq \Delta n_2 \leq -3 \cdot 10^{-3}, \text{ et de préférence } -8 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_2 \leq -4 \cdot 10^{-3} \\ 1 &\leq r_1 \leq 2,5 \mu\text{m}, \text{ et de préférence } 1,3 \leq r_1 \leq 2,2 \mu\text{m} \\ 6 &\leq r_3 \leq 10 \mu\text{m}, \text{ et de préférence } 6,5 \leq r_3 \leq 9 \mu\text{m}. \end{aligned}$$

Les profils satisfaisant les conditions de l'invention peuvent en outre

30 présenter les caractéristiques additionnelles suivantes :

$$\begin{aligned} 0,5 \cdot 10^{-3} &\leq \Delta n_3 \leq 20 \cdot 10^{-3}, \text{ et de préférence } 2 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_3 \leq 18 \cdot 10^{-3} \\ 4 &\leq r_2 \leq 7 \mu\text{m}, \text{ et de préférence } 4,5 \leq r_2 \leq 6,5 \mu\text{m}. \end{aligned}$$

La figure 4 montre une représentation schématique d'une partie d'un système de transmission, dans lequel on utilise de la fibre de compensation selon l'invention en tant que fibre de ligne. On a représenté à la figure 4 deux amplificateurs 1 et 2 voisins du système de transmission ; entre les deux amplificateurs, la fibre de ligne est constituée d'une section 3 de fibre du type de la fibre NZ-DSF décrite plus haut (c'est-à-dire fibres présentant une dispersion chromatique comprise entre 5 et 11 ps/nm.km, et une pente de dispersion chromatique inférieure à 0,08 ps/nm².km à 1550 nm), et d'une deuxième section 4 de fibre selon l'invention. La fibre de la première section présente une dispersion chromatique à 1550 nm de 8 ps/nm.km, et une pente de dispersion chromatique à la même longueur d'onde de 0,055 ps/nm².km. L'utilisation dans la deuxième section d'une fibre de compensation de dispersion selon le mode de réalisation de la figure 1 permet de compenser sur la plage de longueurs d'onde du multiplex la dispersion chromatique cumulée dans la première section de fibre. La fibre de compensation de dispersion présente un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique de 145 nm ; la fibre de ligne de la première section présente un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique de 145 nm.

Le rapport des longueurs respectives des fibres de la première et de la deuxième section est choisi de manière à minimiser la dispersion chromatique cumulée sur la liaison, et dans l'exemple, peut être de l'ordre de 6,4, c'est-à-dire voisin de l'inverse du rapport 8/51 des dispersion chromatiques.

Dans un tel cas, pour une première section de fibre d'une longueur de 86 km, et une deuxième section de fibre de compensation de 14 km, la dispersion chromatique cumulée pour le canal à 1550 nm du multiplex est proche de 0 ps/nm.

Dans la plage du multiplex, c'est-à-dire entre 1530 et 1620 nm, la dispersion chromatique cumulée est inférieure à 50 ps/nm pour chaque canal, pour les 100 km des première et deuxième sections. On arrive de la sorte à limiter la dispersion chromatique cumulée à des valeurs inférieures à 100 ps/nm, pour chaque canal, en moyenne sur 100 km, comme indiqué plus haut.

La fibre de l'invention peut être fabriquée par l'homme du métier à l'aide de techniques connues, comme le MCVD ou les autres techniques couramment utilisées pour la fabrication des fibres optiques.

Bien entendu, la présente invention n'est pas limitée aux exemples et modes de réalisation décrits et représentés, mais elle est susceptible de nombreuses variantes accessibles à l'homme de l'art. Il est clair que les profils des figures 1 à 3 ne sont donnés qu'à titre d'exemple, et que d'autres profils peuvent permettre d'obtenir

5 des fibres présentant les caractéristiques de l'invention. La fibre de l'invention peut être utilisée comme dans le mode de réalisation de la figure 4 dans un système de transmission à répéteurs, mais aussi dans un système de transmission sans répéteurs.

REVENDEICATIONS

1. Fibre optique à compensation de dispersion présentant pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique inférieure ou égale à
5 -40 ps/nm.km, une pente de la dispersion chromatique négative, un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de la dispersion chromatique compris entre 50 et 230 nm et une surface effective supérieure ou égale à 12 μm^2 ,
caractérisée en ce qu'elle présente à 1550 nm des pertes par courbure
10 inférieures ou égales à 0,05 dB pour un enroulement de 100 tours avec un rayon de 30 mm.
2. Fibre selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique supérieure ou égale à -150 ps/nm.km.
- 15 3. Fibre selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique inférieure ou égale à -50 ps/nm.km.
4. Fibre selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la
20 dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique inférieur à 200 nm.
5. Fibre selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique inférieur à
25 180 nm.
6. Fibre selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la

dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique inférieur à 160 nm.

7. Fibre selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique supérieur à 80 nm.
8. Fibre selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique supérieur à 100 nm.
9. Fibre selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique supérieur à 120 nm.
10. Fibre selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une surface effective supérieure ou égale à $15 \mu\text{m}^2$, de préférence supérieure ou égale à $20 \mu\text{m}^2$.
11. Fibre selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une atténuation inférieure ou égale à 1 dB/km.
12. Fibre selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un diamètre de mode supérieur ou égal à $4 \mu\text{m}$.
13. Fibre selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une sensibilité aux micro-courbures inférieure ou égale à 1, et de préférence inférieure ou égale à 0,5.

14. Fibre selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisée en ce qu'elle comporte une gaine optique extérieure et présente un profil d'indice comprenant, de l'intérieur vers l'extérieur, une partie centrale d'indice supérieur ou égal à l'indice de la gaine optique, une partie annulaire ou partie enterrée, d'indice inférieur ou égal à l'indice de la gaine optique, une partie annulaire ou anneau d'indice supérieur ou égal à l'indice de la gaine optique et inférieur ou égal à celui de la partie centrale, et une gaine optique.
15. Fibre selon la revendication 14, caractérisée en ce que la différence entre l'indice de la partie enterrée et l'indice de la gaine est supérieure ou égale à -8.10^{-3} .
16. Fibre selon la revendication 15 caractérisée en ce qu'elle présente les caractéristiques suivantes :
- $12.10^{-3} \leq \Delta n_1 \leq 40.10^{-3}$, et de préférence $15.10^{-3} \leq \Delta n_1 \leq 30.10^{-3}$
- $-8.10^{-3} \leq \Delta n_2 \leq -3.10^{-3}$, et de préférence $-8.10^{-3} \leq \Delta n_2 \leq -4.10^{-3}$
- $1 \leq r_1 \leq 2,5 \mu\text{m}$, et de préférence $1,3 \leq r_1 \leq 2,2 \mu\text{m}$
- $6 \leq r_3 \leq 10 \mu\text{m}$, et de préférence $6,5 \leq r_3 \leq 9 \mu\text{m}$,
- où :
- Δn_1 est la différence d'indice entre la partie centrale et la gaine
- Δn_2 est la différence d'indice entre la partie enterrée et la gaine
- r_1 est le rayon de la partie centrale
- r_3 est le rayon de l'anneau.
17. Fibre selon la revendication 16 caractérisée en ce qu'elle présente en outre les caractéristiques suivantes :
- $0,5.10^{-3} \leq \Delta n_3 \leq 20.10^{-3}$, et de préférence $2.10^{-3} \leq \Delta n_3 \leq 18.10^{-3}$
- $4 \leq r_2 \leq 7 \mu\text{m}$, et de préférence $4,5 \leq r_2 \leq 6,5 \mu\text{m}$
- où :
- Δn_3 est la différence d'indice entre l'anneau et la gaine
- r_2 est le rayon de la partie enterrée.

18. Utilisation d'une fibre selon l'une des revendications 1 à 17 comme fibre de dispersion de compensation dans un système de transmission à fibre optique à multiplexage en longueur d'onde.
- 5 19. Utilisation selon la revendication 18, la fibre de compensation étant câblée et utilisée comme fibre de ligne.
20. Utilisation selon la revendication 18, la fibre de compensation étant placée dans un module de compensation.
- 10 21. Système de transmission à fibre optique à multiplexage en longueur d'onde, comprenant une première section (3) de fibre de ligne, et une deuxième section (4) de fibre de ligne selon l'une des revendications 1 à 17.
22. Système de transmission selon la revendication 21, caractérisé en ce que la fibre de ligne de la première section présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique entre 5 et 11 ps/nm.km.
- 15 23. Système de transmission selon l'une des revendications 21 ou 22, caractérisé en ce que la fibre de ligne de la première section présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une pente de dispersion chromatique inférieure ou égale à 0,08 ps/nm².km.
- 20 24. Système selon l'une des revendications 21 à 23, caractérisé en ce que le rapport de la longueur de la première section à la longueur de la seconde section est sensiblement l'inverse de la valeur absolue du rapport des dispersions chromatiques à 1550 nm des fibres de la première section et de la deuxième section.
- 25 25. Système selon l'une des revendications 21 à 24, caractérisé en ce que la dispersion chromatique cumulée pour chaque canal entre 1530 et 1620 nm est inférieure à 100 ps/nm, et de préférence inférieure à 50 ps/nm, en moyenne sur 100 km de transmission.

26. Système de transmission à fibre optique à multiplexage en longueur d'onde, comprenant de la fibre de ligne, et de la fibre selon l'une des revendications 1 à 17 comme fibre de compensation dans un module de compensation.
- 5 27. Système de transmission selon la revendication 26, caractérisé en ce que la fibre de ligne présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique entre 5 et 11 ps/nm.km.
- 10 28. Système de transmission selon l'une des revendications 26 ou 27, caractérisé en ce que la fibre de ligne présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une pente de dispersion chromatique inférieure ou égale à 0,08 ps/nm².km.
- 15 29. Système selon l'une des revendications 26 à 28, caractérisé en ce que le rapport de la longueur de la fibre de ligne à la longueur de la fibre de compensation est sensiblement l'inverse de la valeur absolue du rapport des dispersions chromatiques à 1550 nm des fibres de ligne et de compensation.
30. Système selon l'une des revendications 26 à 29, caractérisé en ce que la dispersion chromatique cumulée pour chaque canal entre 1530 et 1620 nm est inférieure à 100 ps/nm, et de préférence inférieure à 50 ps/nm, en moyenne sur 100 km de transmission.

1/2

FIG. 1

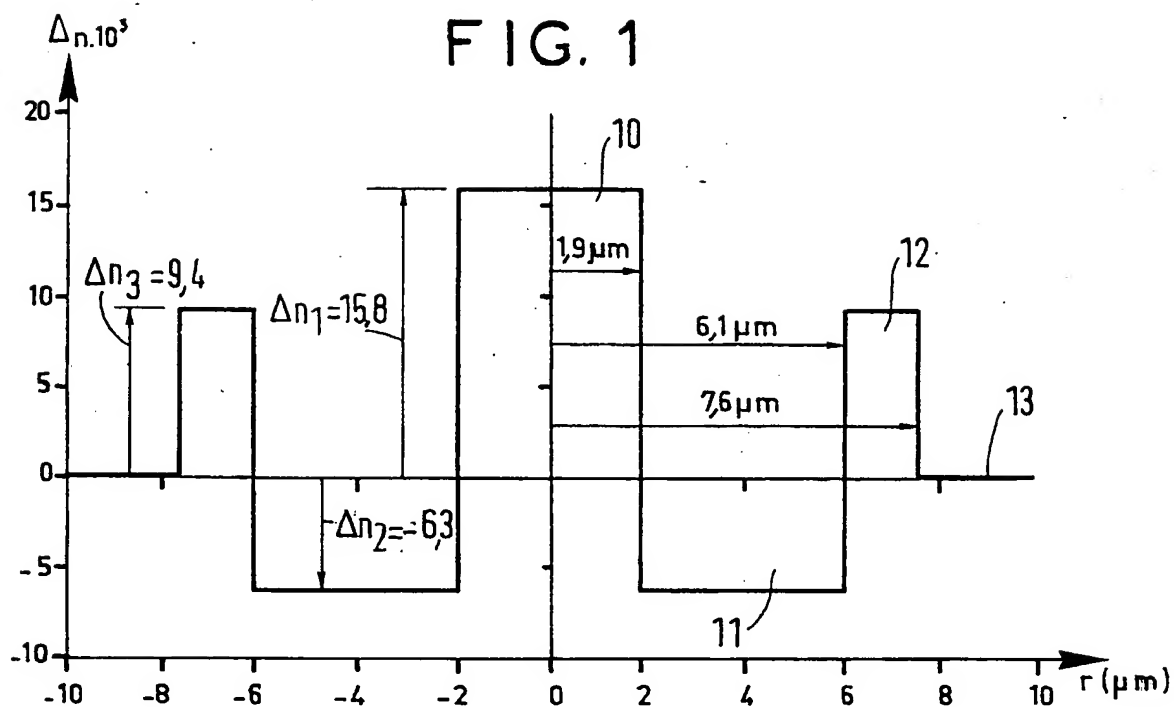
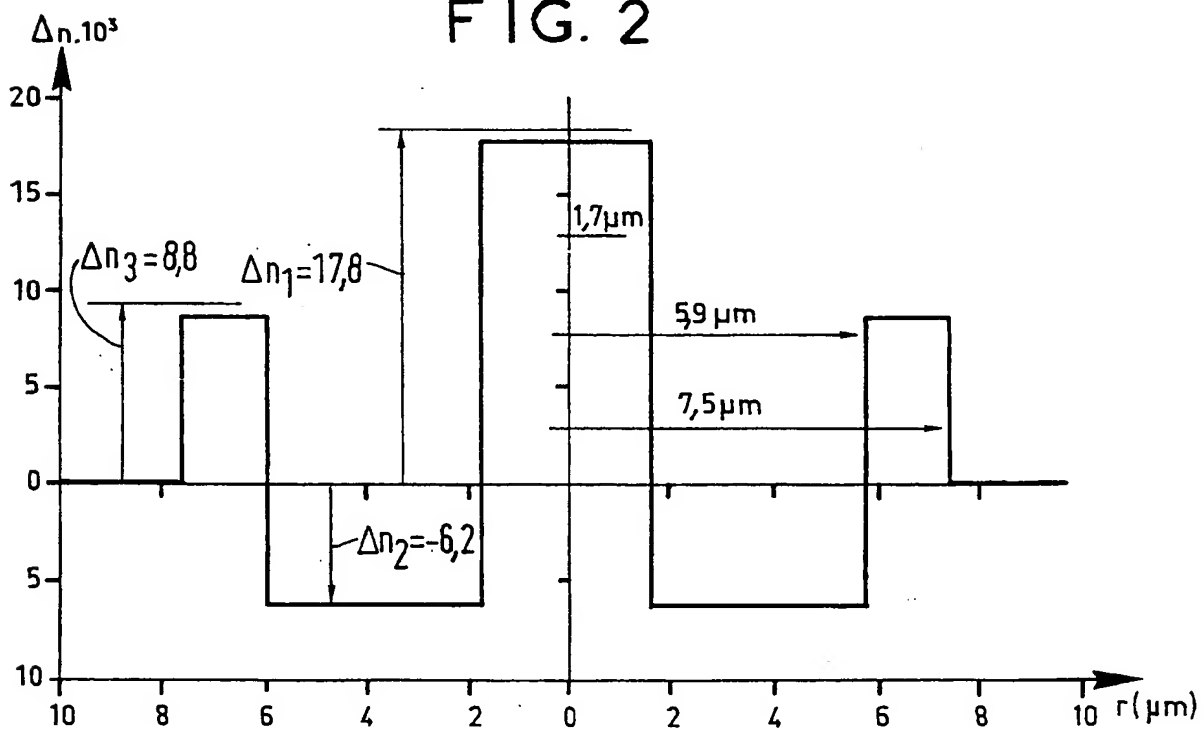


FIG. 2



2/2

FIG. 3

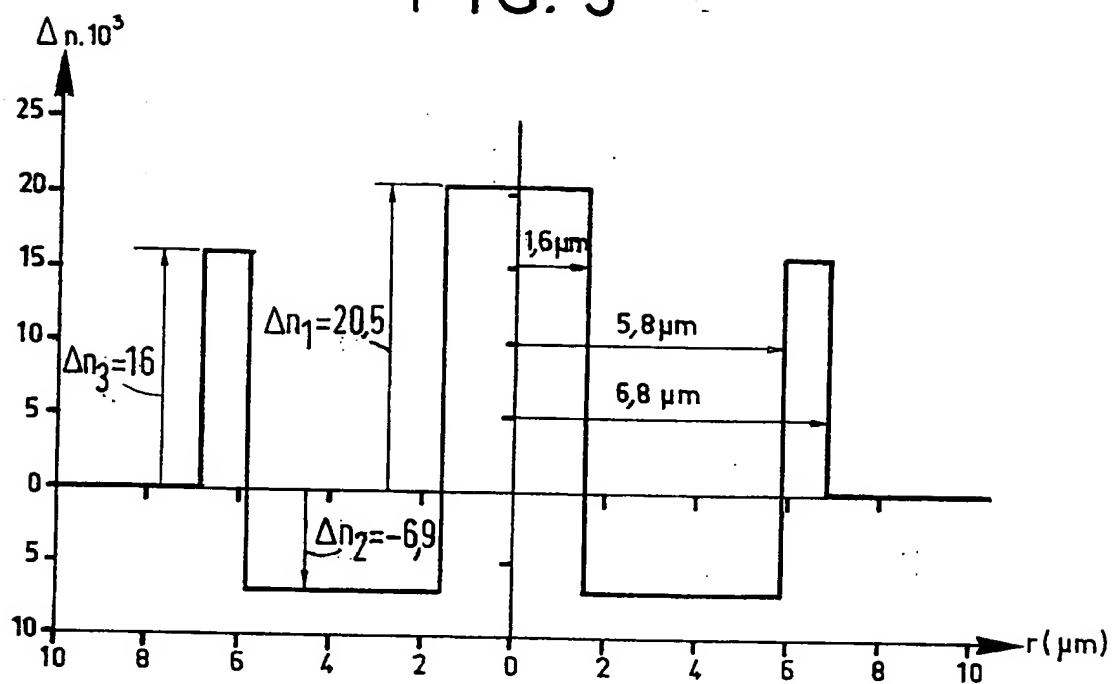
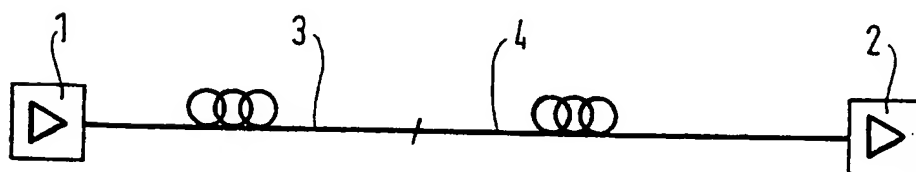


FIG. 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 00/01823

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G02B6/16

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|---|-----------------------|
| A | EP 0 883 002 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 9 December 1998 (1998-12-09) abstract; figure 3C page 4, line 45 -page 5, line 55 --- | 1-30 |
| A | US 5 838 867 A (KANAMORI HIROO ET AL) 17 November 1998 (1998-11-17) abstract; figures 1,5A,8,10,11 column 3, line 1 -column 5, line 67 column 6, line 51 - line 62 column 10, line 40 - line 61 --- -/-- | 1-30 |



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 September 2000

Date of mailing of the international search report

05/10/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Jakober, F

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. l. Application No

PCT/FR 00/01823

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|----------|---|-----------------------|
| A | <p>VENGSARKAR A M ET AL: "DISPERSION-COMPENSATING SINGLE-MODE FIBERS: EFFICIENT DESIGNS FOR FIRST- AND SECOND-ORDER COMPENSATION" OPTICS LETTERS, US, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, vol. 18, no. 11, 1 June 1993 (1993-06-01), pages 924-926, XP000304592 ISSN: 0146-9592 the whole document</p> | 1-30 |
| A | <p>US 5 568 583 A (UMEDA ATSUSHI ET AL) 22 October 1996 (1996-10-22) cited in the application abstract; figure 5D column 5; tables 1-3</p> | 1-30 |
| A | <p>EP 0 554 714 A (CORNING INC) 11 August 1993 (1993-08-11) abstract; figures 1,8</p> | 1-30 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 00/01823

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---------------------|----------------------------|---------------------|
| EP 0883002 A | 09-12-1998 | US 5878182 A | 02-03-1999 |
| | | AU 711776 B | 21-10-1999 |
| | | AU 6993898 A | 10-12-1998 |
| | | BR 9801775 A | 14-09-1999 |
| | | CA 2237282 A | 05-12-1998 |
| | | CN 1201913 A | 16-12-1998 |
| | | DE 69800250 D | 14-09-2000 |
| | | JP 11052161 A | 26-02-1999 |
| | | RU 2140095 C | 20-10-1999 |
| US 5838867 A | 17-11-1998 | CA 2202586 A | 15-10-1997 |
| | | JP 10039155 A | 13-02-1998 |
| US 5568583 A | 22-10-1996 | CA 2157828 A | 14-03-1996 |
| | | JP 8136758 A | 31-05-1996 |
| EP 0554714 A | 11-08-1993 | US 5361319 A | 01-11-1994 |
| | | AU 660522 B | 29-06-1995 |
| | | AU 3211693 A | 05-08-1993 |
| | | CA 2084217 A | 05-08-1993 |
| | | DE 69327120 D | 05-01-2000 |
| | | DE 69327120 T | 20-04-2000 |
| | | EP 0935146 A | 11-08-1999 |
| | | JP 6011620 A | 21-01-1994 |

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De de Internationale No

PCT/FR 00/01823

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 G02B6/16

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G02B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

| Catégorie | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents | no. des revendications visées |
|-----------|---|-------------------------------|
| A | EP 0 883 002 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 9 décembre 1998 (1998-12-09) abrégé; figure 3C page 4, ligne 45 -page 5, ligne 55 --- | 1-30 |
| A | US 5 838 867 A (KANAMORI HIROO ET AL) 17 novembre 1998 (1998-11-17) abrégé; figures 1,5A,8,10,11 colonne 3, ligne 1 -colonne 5, ligne 67 colonne 6, ligne 51 - ligne 62 colonne 10, ligne 40 - ligne 61 --- -/-- | 1-30 |

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- *T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- *&* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

26 septembre 2000

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

05/10/2000

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Jakober, F

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De ... de Internationale No

PCT/FR 00/01823

| C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS | | |
|---|--|-------------------------------|
| Catégorie | Identification des documents cités, avec le cas échéant, l'indication des passages pertinents | no. des revendications visées |
| A | <p>VENGSARKAR A M ET AL: "DISPERSION-COMPENSATING SINGLE-MODE FIBERS: EFFICIENT DESIGNS FOR FIRST- AND SECOND-ORDER COMPENSATION" OPTICS LETTERS, US, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, vol. 18, no. 11, 1 juin 1993 (1993-06-01), pages 924-926, XP000304592 ISSN: 0146-9592 le document en entier</p> | 1-30 |
| A | <p>US 5 568 583 A (UMEDA ATSUSHI ET AL) 22 octobre 1996 (1996-10-22) cité dans la demande abrégé; figure 5D colonne 5; tableaux 1-3</p> | 1-30 |
| A | <p>EP 0 554 714 A (CORNING INC) 11 août 1993 (1993-08-11) abrégé; figures 1,8</p> | 1-30 |

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

De l'Organisation Internationale No

PCT/FR 00/01823

| Document brevet cité au rapport de recherche | Date de publication | Membre(s) de la famille de brevet(s) | Date de publication |
|---|------------------------|---|------------------------|
| EP 0883002 A | 09-12-1998 | US 5878182 A | 02-03-1999 |
| | | AU 711776 B | 21-10-1999 |
| | | AU 6993898 A | 10-12-1998 |
| | | BR 9801775 A | 14-09-1999 |
| | | CA 2237282 A | 05-12-1998 |
| | | CN 1201913 A | 16-12-1998 |
| | | DE 69800250 D | 14-09-2000 |
| | | JP 11052161 A | 26-02-1999 |
| | | RU 2140095 C | 20-10-1999 |
| US 5838867 A | 17-11-1998 | CA 2202586 A | 15-10-1997 |
| | | JP 10039155 A | 13-02-1998 |
| US 5568583 A | 22-10-1996 | CA 2157828 A | 14-03-1996 |
| | | JP 8136758 A | 31-05-1996 |
| EP 0554714 A | 11-08-1993 | US 5361319 A | 01-11-1994 |
| | | AU 660522 B | 29-06-1995 |
| | | AU 3211693 A | 05-08-1993 |
| | | CA 2084217 A | 05-08-1993 |
| | | DE 69327120 D | 05-01-2000 |
| | | DE 69327120 T | 20-04-2000 |
| | | EP 0935146 A | 11-08-1999 |
| | | JP 6011620 A | 21-01-1994 |